动 物 学 研 究 2001, Jun. 22 (3): 250～252 CN 53－1040/Q ISSN 0254－5853
Zoological Research

简报

南蝠回声定位叫声的分析

冯 江[1,3] 李振新[2] 周 江[2] 赵辉华[3] 张树义[3]

（①东北师范大学环境科学系 长春 130024）
（②贵州师范大学生物系 贵阳 550000）（③中国科学院动物研究所 北京 100080）

关键词：南蝠；回声定位叫声；调频信号；谐波；捕食策略
中图分类号：Q959.833，Q958.1 **文献标识码**：A **文章编号**：0254－5853(2001)03－0250－03

蝙蝠科是翼手目中种类最繁多、分布最广泛、进化最成功的科之一，全球共有 42 属 355 种（Nowak，1991）。该类群的大多数物种都以超声波回声定位来进行捕食，其回声定位行为的多样性以及捕食策略的多样性，一直都是动物生态学中的研究热点。南蝠（*Ia io*）属蝙蝠科南蝠属，为单型种，主要分布于我国（罗蓉等，1993）。它是蝙蝠科中体形最大者，以前对其生态学方面的研究非常少，而对其回声定位的研究则未见报道。南蝠捕食时的叫声与飞行及悬挂状态下的叫声的基本特征一致（声谱图及谐波等），仅在叫声次数上有一定差异。因此本文将录制南蝠飞行状态下超声波回声定位的叫声，结合野外观察，分析南蝠回声定位叫声的特点及其与捕食行为的适应性。

1 材料与方法

将捕自贵州省兴义市敬南乡山脚村飞龙洞的成体南蝠，放入 6 m×5 m×3 m 的房间，当蝙蝠飞向工作人员约 1 m 距离时进行录音，随后测量其体重、体长、前臂长等各种参数。

录音过程中，先用超声波监听仪（U30，UltraSound Advice，UK）接收超声波，然后将超声波信号输入到超声波处理仪（PUSP，UltraSound Advice，UK）中，将超声波频率转换为原频率的1/10后用数字式录音机（Sony，MD－1，频率范围30 Hz～20 kHz）录音。录入的声波信号用美国 Syntrillium 软件公司的 Cool Edit 2000 软件进行分析：采样频率 44.1 kHz，分析内容包括声波的声谱图和能量谱图。声谱图（哈明窗分析）分析精度为 256 波段，分析衰减为 60 dB（对数能量值）；能量谱图分析的 FFT 点数为 1 024。对回声定位叫声的持续时间和间隔时间也进行了测量，并计算出能率环（叫声持续时间占叫声持续时间与间隔时间之和的百分比）。分析的数据均以平均值±标准差（$\bar{X}$±*SD*）表示。

2 结 果

在飞行状态下，南蝠回声定位叫声的声谱图为短调频型（图 1），一次完整的叫声脉冲包括 3～4 个谐波，其中第 4 谐波仅出现于 7.6% 的叫声中（*N*＝13）；第 3 谐波虽出现于所有叫声中，但其能量较弱；第 1 及第 2 谐波叫声能量较强。前 3 个谐波的调频范围及声波的特征见表 1。叫声能量最大处的频率（FMF）为（29.7±2.3）kHz。图 1 和图 2 分别为南蝠叫声的声谱图及能量谱图，能量集中分布区基本对应于 3 个谐波的调频范围。

3 讨 论

南蝠是蝙蝠科中个体最大的种类［体重为（52.3±4.7）g］，其分类地位存在一定的争议。Ellerman 曾将其列为伏翼属（*Pipistrellus*）下的亚属，而Topal

收稿日期：2000－11－27；修改稿收到日期：2001－02－14
基金项目：国家自然科学基金项目（30070108）和中国科学院生命科学与生物技术创新青年科学家小组资助
③E-mail：Fengj@nenu.edu.cn（电话 0431－5685086－93561）

表 1 南蝠（*Ia io*）飞行状态下的声波信号特征

Table 1 The characteristics of the sound signals of the Great evening bat (*Ia io*) when it was flying

状态 (status)	第1谐波 (first harmonic) 起始频率/kHz (beginning frequency)	第1谐波 (first harmonic) 结束频率/kHz (end frequency)	第2谐波 (second harmonic) 起始频率/kHz (beginning frequency)	第2谐波 (second harmonic) 结束频率/kHz (end frequency)	第3谐波 (third harmonic) 起始频率/kHz (beginning frequency)	第3谐波 (third harmonic) 结束频率/kHz (end frequency)	持续时间/ms (call duration)	间隔时间/ms (interval time)	叫声频率/次·s^{-1} (calls per second)	能率环/% (duty cycle)
飞行 (flying)	49.0±5.4	18.3±2.1	80.0±6.9	35.6±4.3	87.2±7.4	56.7±4.6	3.7±2.2	42.2±34.8	25.3±11.0	9.4

测量数据取自4只南蝠（the data were measured from four Great evening bat）

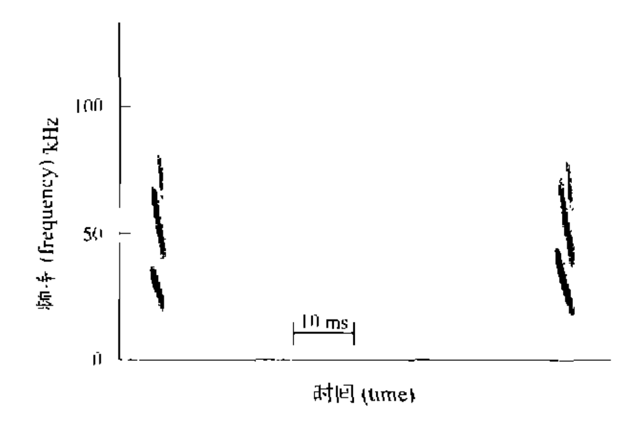


图 1 南蝠飞行状态下叫声声谱图

Fig.1 The sonagram of the Great evening bat when it was flying

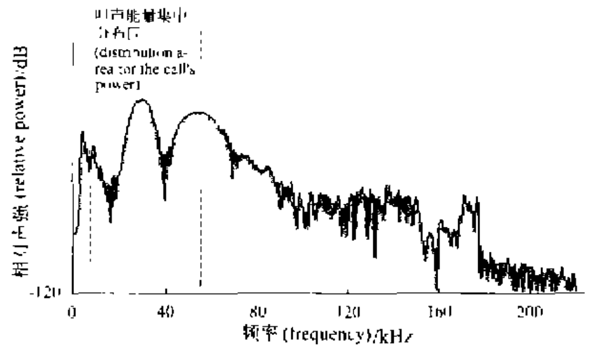


图 2 南蝠飞行状态下叫声的能量谱图（LPC 谱图）

Fig.2 The frequency with energy distribution graph (LPC graph) of the Great evening bat at flying

认为南蝠属是一个与棕蝠属（*Eptesicus*）关系较近的独立的属（Nowak，1991）。从回声定位方面也可以比较其信号的相似性，南蝠的回声定位信号与张树义等（1999）做过的萨氏伏翼（*Pipistrellus savii*）的回声定位信号的声谱图的基本型式较为相似，均为多谐波的调频声波（FM），且第1及第2谐波的能量较强，只是萨氏伏翼的声谱图调频末端较为平缓；棕蝠（*Eptesicus serotinus*）回声定位声谱图也呈现多谐波调频状态，但其第1及第3谐波的能量较强，第2谐波能量稍弱(Miller & Hans,1981)。从回声定位方面的比较来看，南蝠属与伏翼属及棕蝠属没有明显的差异。

在进化过程中，生境的种种限制塑造了蝙蝠的捕食策略、回声定位行为、以及相关的形态特征，三者有着密切的联系。如何在背景回声中找到并鉴别目标信号，是蝙蝠面临的主要挑战。在开阔地带背景回声干扰较少，而在复杂环境中背景回声不仅影响到蝙蝠的定位，还影响到猎物的探测。在后一环境的生存压力下，蝙蝠回声定位的叫声结构和捕食策略乃至蝙蝠的翼形与前一环境截然不同（Altringham，1996）。Neuweiler（1989）认为具有多谐波调频声的蝙蝠适于在各种较为复杂的环境中捕食，如在树冠之间或树冠之上飞行捕食，或在树叶上或地面上进行拾遗式（gleaning）捕食，复杂的环境需要灵敏的测距和目标识别，简短而宽带的多谐波调频声比较适于完成这些任务。此外，有的种类可以根据水面或水中目标对声波的反射引起的频谱改变来探测捕食猎物。南蝠的回声定位叫声也属于多谐波调频声，比较适于在复杂环境中捕食。

在飞龙洞中调查发现，与南蝠同栖一洞的还有大鼠耳蝠（*Myotis myotis*）、黄大蹄蝠（*Hipposideros pratti*）和三叶蹄蝠（*Aselliscus wheeleri*）。根据竞争排斥原理，这几种本地蝙蝠在生态位上必然有一定的分化。根据本文结果分析以及冯江等（已投出）的研究可得出：南蝠与大鼠耳蝠的回声定位叫声均属于FM型，且叫声声谱图也较相似；而黄大蹄蝠与三叶蹄蝠的叫声与南蝠的完全不同，属于短的恒频-调频声（短CF-FM），它们主要在树冠中进行捕蝇器式（fly-catching）的捕食（即倒挂于一固定枝条或其他位置，探索周围飞行或接近的昆虫，发现后飞出捕食或捉回原地进食）。Arlettaz（1996）研究了大鼠耳蝠的捕食策略后得出，大鼠耳蝠的捕食方式为拾遗式捕食，主要捕食森林或草地表面的昆虫；它具有相对较大的翼（189 mm）和相对较轻的体重（约22 g），有较为出色的飞行能力，可在有猎物存在的地面上方盘旋飞行。而南蝠的翼

(234 mm) 仅比大鼠耳蝠稍大，体重却比后者大很多 (53.7 g)，因此南蝠的飞行速度较快，但飞行中的灵活性较差，不太可能像大鼠耳蝠那样在密集的林间活动，采取相似的捕食策略。在水面上捕食的蝙蝠如水鼠耳蝠 (*Myotis daubentonii*) (Johnes & Rayner, 1988) 叫声的频率较高 (FMF 较高)，适于分辨回声中细微的频谱改变，发现较小的昆虫，南蝠的叫声结构显然也不适合在水面上空捕食。

从南蝠回声定位自身特点来看，一方面声波调频的范围较宽，且具有多个谐波，因此它可能对捕食目标及周围环境有较好的分辨能力；另一方面叫声的能量集中于较低频率处 (FMF 较低)，叫声强度较大，适合捕捉个体较大的昆虫。

综上所述，笔者认为南蝠最有可能在树冠中间的开阔空间捕食个体较大的昆虫。南蝠主要分布于我国，关于其回声定位及捕食行为的研究才刚刚开始，因此开展这方面的深入研究具有重要的理论意义，同时也可以推动我国蝙蝠的保护工作。

致 谢 本文工作得到贵州省林业厅保护处的大力支持，野外工作得到贵州师范大学生物系谢家骅教授、李刚和犹永春同学的帮助，在此一并致谢。

参 考 文 献

Altringham J D, 1996. Bats: Biology and Behaviour [M]. Oxford: Oxford University Press.

Arlettaz R, 1996. Feeding behaviour and foraging strategy of free-living Mouse-eared Bats (*Myotis myotis* and *Myotis blythi*) [J]. *Anim. Behav.*, **51**: 1 – 11.

Feng J, Li Z X, Chen M *et al*, (submit). Echolocation comparison and ecological niche differentiation of five species of bats in the same cave [J]. *Acta. Ecologica Sinica*. [冯 江，李振新，陈 敏等. (已投稿). 同一山洞中五种蝙蝠回声定位比较及生态位分化. 生态学报.]

Johnes G, Rayner J M V, 1988. Flight performance, foraging tactics and echolocation in free-living Daubenton's Bats *Myotis daubentonii* (Chiroptera: Vespertilionidae) [J]. *J. Zool. Lond.*, **215**: 113 – 132.

Luo R, Xie J H, Gu Y H *et al*, 1993. The Beasts in Guizhou [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press. [罗 蓉，谢家骅，辜永河等，1993. 贵州兽类志. 贵阳：贵州科技出版社.]

Miller L A, Hans J D, 1981. The acoustic behavior of four species of Vespertilionid Bats studied in the field [J]. *J. Comp. Physiol. A*, **142**: 67 – 74.

Neuweiler G, 1989. Foraging ecology and audition in echolocating Bats [J]. *TREE*, **4**(6): 160 – 166.

Nowak R M, 1991. Mammals of the World [M]. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press. 345.

Zhang S Y, Feng J, Li Z X *et al*, 1999. The comparison of the echolocation calls of three species of bats at flying [J]. *Acta. Zool. Sin.*, **45**: 385 – 389. [张树义，冯 江，李振新等，1999. 三种蝙蝠飞行状态下回声定位信号的比较. 动物学报，**45**: 385 – 389.]

Echolocation Calls Analyzing of Great Evening Bat (*Ia io*)

FENG Jiang[1] LI Zhen-Xin[1] ZHOU Jiang[2] ZHAO Hui-Hua[2] ZHANG Shu-Yi[3]

([1] *Environmental Science Department, Northeast Normal University, Changchun* 130024, *China*)

([2] *Biology Department, Guizhou Normal University, Guiyang* 550000, *China*)

([3] *Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080, *China*)

Abstract: When they are flying, Great evening bat (*Ia io*) produces short FM echolocation calls including three harmonics, of which the first one and the second one are stronger. As they fly, the first harmonic is modulated from 49.0 to 18.3 kHz, the second one is modulated from 80.0 to 35.6 kHz, and the third one from 87.2 to 56.7 kHz. The average duration of the calls is 3.7 ms. It was predicted that Great evening bat (*Ia io*) captures big insects in the open area among foliages according to the sound characteristic analysis of echolocation calls and the analysis comparing with the echolocation calls of other bats that perch in the same cave.

Key words: Great evening bat (*Ia io*); Echolocation calls; FM signal; Harmonic; Forging strategy